

CONFERÊNCIA IBERO-AMERICANA SOBRE APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS

LISBOA-PORTUGAL

JUNHO 1987

O DESENVOLVIMENTO E USO DO CONCRETO (BETÃO) ADENSADO COM ROLO VIBRATÓRIO, EM OBRAS HIDRÁULICAS EM PAÍSES DA AMÉRICA DO SUL

FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO - ENGENHEIRO CONSULTOR - BRASIL
JOSÉ AUGUSTO BRAGA - ITAIPU BINACIONAL - BRASIL / PARAGUAI
GIANCARLO GOTTARDO - SIDECO AMERICANA - ARGENTINA

O Desenvolvimento e Uso do Concreto (Betão) Adensado com Rolo Vibratório, em Obras Hidráulicas em Países da América do Sul

The Development and the Use of Concrete Compacted with Vibratory Roller in Hydraulic Constructions in South America Countries

F.R. Andriolo, Engenheiro Consultor - Brasil

J.A. Braga, Itaipu Binacional - Brasil / Paraguai

G. Gottardo, Sideco Americana - Argentina

SUMÁRIO: O trabalho apresenta informações técnicas de estudos de laboratório, aterros experimentais, e de controle de qualidade de aplicações do "Concreto (Betão) Rolado" aplicado em obras hidráulicas em países da América do Sul. São fornecidos dados que mostram as tendências de uso da técnica do concreto (Betão) adensado com rolo vibratório, que se mostra vantajosa do ponto de vista econômico e segura do ponto de vista técnico, e de mesma qualidade que uma estrutura de betão usual. Com base em ensaios de laboratório são discutidos resultados que mostram o desempenho de materiais novos, como por exemplo, a micro-sílica, incorporados ao "Concreto (Betão) Rolado".

ABSTRACT: The work presents technical informations of laboratory studies, experimental embankments, and quality controls of applications of "roller compacted concrete" applicated in hydraulics buildings in countries of South America. Are furnishing facts who shows the tendencies of the use of technique of compacted concrete with vibratory roller, who shows vantages of an economic point of view and surely of a technic point of view, and as a same quality of a concrete usual structure. Based in tests of laboratory are discussed results who shows the performance of new materials, as an example the silica-fume, incorporated at the "Concrete Roller".

1. APRESENTAÇÃO - CONCEITO - EVOLUÇÃO

O concreto adensado com rolo vibratório - concreto rolado - rollcrete - R.C.C. representa uma técnica, onde um betão sem trabalhabilidade é transportado, colocado e compactado por meio de equipamentos de construção de maciços de terra e rocha.

Essa técnica permite um lançamento contínuo e tem possibilitado economia de tempo e custo na construção de barragens do tipo gravidade.

A divulgação e assimilação do conceito do "Concreto (Betão) Rolado" provavelmente teve um grande impulso nas Conferências de Asilomar [1] - California - Março/1970.

Em 1974, o Ministério das Construções do Japão [2,3] iniciou um programa de pesquisas com objetivo de reduzir prazos e custos na construção de barragens de concreto. Em 1980 noticiou-se [4] que a barragem de Shimajigawa estava sendo construída com "Concreto (Betão) Rolado".

Em 1982 foi noticiado [5] o término da construção da barragem de Willow-Creek-Oregon, totalmente executada com "Concreto (Betão) Rolado".

No XV - ICOLD - 1985 [6] - Lausanne - Suíça, divulgou-se sobre a aplicação experimental do "Concreto (Betão) Rolado", em parte da barragem de Erizana - Espanha, bem como [7] sobre a utilização dessa técnica na barragem de Daule Peripa - Equador.

Além dessa aplicação recente, na América do Sul e particularmente no Brasil, a técnica do "Concreto (Betão) Rolado" vem sendo utilizada e desenvolvida desde 1976 [8], e recentemente na Argentina.

Os estudos e aplicações do "Concreto (Betão) Rolado" no Brasil iniciaram durante a construção da Hidroelétrica de Itaipu, sendo que a primeira aplicação, em 1976, ocorreu, experimentalmente, na execução de pisos de armazéns, após o que incentivou-se sua utilização. Outras aplicações se sucederam no Brasil, sendo que em 1977 [9] o "Concreto (Betão) Rolado" foi usado para enchimento (31355 m³) de adufas de desvio na barragem de São Simão. No início de 1978, foi aplicado como enchimento (26.000 m³) de uma rampa de acesso às fundações da estrutura de desvio, em Itaipu. No início de 1982 foi aplicado (12.000 m³) em partes das eclusas de navegação da barragem de Tucuruí - Brasil. Em 1986 [10] construiu-se, em aproximadamente 90 dias, a barragem Saco Nova Olinda - Paraíba, com um volume de "Concreto (Betão) Rolado" ao redor de 130.000 m³.

Na Argentina, em 1984 [11] iniciou-se o projeto da Hidroelétrica de Urugua-i - Misiones, próximo à fronteira com o Brasil. A execução da obra iniciou-se em 1986, sendo que a barragem é de 74 m de altura, com um volume de "Concreto (Betão) Rolado" de 585.000 m³.

2. CARACTERÍSTICAS

Como já citado anteriormente o "Concreto (Betão) Rolado" se caracteriza mais por uma técnica de aplicação de um betão, que por um tipo de betão que requeira cuidados ou conhecimentos especiais. Pelo contrário, permite um tratamento mais simples, chegando ao rudimentar.

Várias características podem ser citadas para mostrar a tendência atual das utilizações.

2.1. Tamanho máximo (\emptyset max) do agregado e graduação granulométrica

O \emptyset max do agregado no "Concreto (Betão) Rolado" tem variado desde 22 mm [12] até 150 mm [13,14] com uma predominância para o emprego de 76 mm.

No Brasil as aplicações do "Concreto (Betão) Rolado" têm utilizado [8,9,10] agregados com \emptyset max 76 mm.

Há relatos [15] citando que os agregados para esse betão são beneficiados e se parados granulometricamente como para o betão massa convencional. Outros [15] mostram que essa técnica é menos sensível às variações da graduação, que o betão massa convencional, e citam que uma razoável redução de custos pode ser obtida, dependendo das características das jazidas locais, pela redução no beneficiamento, separando os agregados em gamas mais amplas e em menor número.

2.2. Utilização de finos não coesivos

Há uma tendência de se tolerar um alto teor de finos (material inferior a peneira de abertura 0,075 mm) não coesivos chegando a permitir teores até aproximadamente 10% [16], na peneira de nº 200 e ao redor de 15% na de nº 100.

Alguns ensaios [17] mostram que misturas contendo finos não coesivos, podem acusar melhoria das propriedades resistentes (ver figura 1).

Ø max mm	Teor Kg/m ³					Resistência a Com- pressão MPa	
	Água	Cimento	Pozolana	Silte	Agregados	28 Dias	90 Dias
76	110	60	-	-	2280	3,1	3,4
76	110	80	-	-	2259	3,4	4,5
76	110	60	12	-	2260	4,1	4,5
76	110	60	24	-	2229	4,6	5,6
76	110	80	16	-	2257	5,3	6,8
76	110	60	-	25	2280	3,5	4,5
76	110	80	-	25	2274	4,4	5,6

Figura 1:

Estudos com Adição de Fi-
nos não Coesivos [17]

Pode ser observado que o "Concreto (Betão) Rolado" é uma simplificação (e redução de custos) da metodologia de aplicação do betão, como tanto, os materiais empregados e a obtenção dos mesmos deve seguir essas premissas.

Vários estudos, como citado nas referências, e recentemente como efetuado pelo corpo técnico para execução da barragem de Urugua-i demonstram que para assegurar uma massa específica máxima ótima, na mistura para ser compactada com rolo vibratório, é necessário de 4% a 10% de material mais fino que a malha de nº 200. Isso é muito oportuno, quando se trabalha com materiais britados, como no caso de uso de basalto triturado, como em Urugua-i (Argentina). Isso pois o pó produzido na britagem do basalto, é não plástico, e a quantidade obtida em um sistema normal de trituração (um primário de mandíbulas, um secundário e um terciário cônicos) é de 10 a 12% da quantidade do agregado miúdo, que por sua vez é de aproximadamente 20% do total dos agregados produzidos. Dessa forma, tem-se de 2% a 2,5% de pó (material mais fino que 0,075 mm), o que pode ser totalmente incorporado à mistura. Não havendo necessidade de lavagem dos materiais britados. Por outro lado a introdução de um britador quaternário do tipo V.F.C. (Very Fine Crusher), de baixo custo, permite duplicar a quantidade de material menor que 0,075 mm. Dessa forma, praticamente, não ocorre rejeito, e há a redução de custos.

Deve ser salientado que a tentativa de uso de material fino com algum teor coesivo, é preocupante, e requer cuidados adicionais, visto o comportamento não uniforme diante da umidade.

2.3. Teor de material pozolânico e proporcionamento das misturas

O teor de material pozolânico no "Concreto (Betão) Rolado" tem variado desde 0% [18,19], até 80% [20] em volume sólido.

Os estudos efetuados no Brasil, em Itaipu e Tucuruí [21] em mais de 20 misturas, com teores de material pozolânico entre 0% e 60% de reposição ao volume sólido de cimento não mostraram vantagens quando a reposição supera a 40% (pozolana de argila calcinada, com finura Blaine ao redor de 7.500 cm²/g), sendo que para a aplicação em Itaipu [8] adotou-se 15% (cinza volante com finura Blaine ao redor de 3.000 cm²/g).

Dunstan [20] recomenda que a relação (em volume sólido) do teor de pasta/teor de argamassa no "Concreto (Betão) Rolado" não seja inferior a 0,41. A tecnologia Japonesa [13,14] adota relações ao redor de 0,35.

Os estudos e aplicações efetuados em Tucuruí e Itaipu, mostraram valores entre 0,45 e 0,22.

Os estudos para Urugua-i deram valores entre 0,21 e 0,26.

Deve ser observado que há, ainda, a possibilidade da incorporação da micro-silica a esse tipo de betão. Estudos efetuados nos laboratórios da Itaipu, para a obra de Urugua-i mostraram os valores da figura 2.

Ø max (mm)	Teor Kg/m ³				Resistência Compressão (MPa)	
	Água	Cimento	Micro-Sílica	Agregados	28 Dias	90 Dias
38	80	130	-	2519	12,9	14,8
38	80	130	6,5	2664	20,0	20,7

Figura 2:

Comparação de Misturas de "Concreto (Betão) Rolado", Com e Sem Adição de Micro-Sílica

A adição da micro-sílica pode atuar como material fino e como pozolânico.

2.4. Produção do "Concreto (Betão) Rolado"

Há uma tendência de se permitir usar centrais misturadoras contínuas, tipo Pug-Mill [25,26], semelhantes às usadas para a produção de solo-cimento.

Os japoneses [13,14,27] têm utilizado centrais convencionais, com misturadores forçados de duplo eixo.

As aplicações em Itaipu, Tucuruí e São Simão, utilizaram "Concreto (Betão) Rolado" produzido em centrais convencionais, para betão massa, com betoneiras basculantes, de 3 m³ de capacidade. Para a construção da barragem de Nova Olinda, também no Brasil, se usou de 2 misturadores contínuos tipo Pug-Mill.

Para a barragem de Urugua-í prevê-se o uso de misturadores contínuos, como em Nova Olinda.

2.5. Transporte do "Concreto (Betão) Rolado"

O transporte desse betão tem sido feito de diversas maneiras e combinações, de correias transportadoras [19], plano inclinado acoplado a caminhões basculantes [13], "scrapers" e caminhões fora de estrada [8,9,21,28].

2.6. Espalhamento do "Concreto (Betão) Rolado"

O espalhamento desse betão tem sido executado por tratores de lâmina, tipo "Bulldozer" [8,9,10,13,21,28] e também por motoniveladoras [7], sendo que a prática mais usual é com o auxílio do "Bulldozer".

2.7. Altura da sub-camada

A altura da sub-camada lançada, de "Concreto (Betão) Rolado" tem variado desde 15 cm [28] até 80 cm [13,14,30], sendo que se tem procurado atingir 100 cm [13].

A altura das sub-camadas lançadas, sem compactação, adotada nas aplicações brasileiras esteve entre 25 cm [9] e 45 cm [10].

A altura das sub-camadas e conseqüentemente o número de juntas, deve ser de forma a reduzir o risco de percolação e lixiviação, e ainda, reduzir os custos, bem como obter adequada compactação.

2.8. Compactação

Uma das operações importantes nessa tecnologia é a compactação, bem como o procedimento de controle usado para se atingir a máxima massa específica.

A carga estática dos rolos usados tem variado de 7,5 t [13,14] a 15 t [28], sendo variável o número de passadas. Nas aplicações brasileiras foram utilizados rolos vibratórios tipo CA-15-Dynapac em Itaipu [8], CA-25-Dynapac em Tucuruí [9] e CC-43-Dynapac em Nova Olinda.

2.9. Tempo de espera da junta de construção

A importância de se conhecer o tempo de espera entre duas camadas (ou sub-camadas) sucessivas, esta relacionada à necessidade, ou não, de preparo da junta de

construção estabelecida. É o tempo decorrido para que não ocorra uma "junta - fria".

O conceito de maturidade estabelecido anteriormente [5,31], a um valor correspondente a $871^{\circ}\text{C} \times \text{h}$, que permitia a retomada de concretagem sem tratamento da junta, esta sendo revisto [18,33] para valores inferiores a $330^{\circ}\text{C} \times \text{h}$.

Outros relatos [22] chegam admitir a não ocorrência de junta fria, dentro de um período inferior a 18 horas.

Os japoneses [13] têm admitido que uma adequada compactação pode ser obtida em períodos inferiores a 4 horas, desde a produção do concreto.

As aplicações em Tucuruí e Itaipu [21] foram feitas considerando que o tempo de espera fosse inferior a 4 horas, e efetivamente os ciclos estiveram entre 2 e 3 horas.

2.10. Tratamento da junta de construção

O tratamento da junta de construção, e as providências subsequente para a retomada da concretagem deve ser estabelecido com base em ensaios que caracterizem as propriedades requeridas para o projeto.

2.11. Construção dos paramentos

A técnica do "Concreto (Betão) Rolado" tem dado possibilidade de se empregar vários métodos para a moldagem dos paramentos das barragens.

Assim é que podem ser usadas placas pré-moldadas [5,28,31], formas deslizantes, acabadoras horizontais [20,22], e o paramento de jusante em degraus, como na barragem de Nova Olinda, no Brasil.

2.12. Controle de percolação e drenagem

Uma das considerações de projeto é minimizar e controlar a percolação de água através do barramento.

Para tanto tem sido considerada a aplicação de um "Concreto (Betão) Rolado" com um teor maior de aglomerante, junto ao paramento de montante, e também a adição de micro-sílica.

A utilização de betão massa convencional, junto ao paramento [13,14,16,18,22,26,27] é também um método adotado. A espessura dessa camada pode ser corretamente dimensionada, considerando a permeabilidade do betão utilizado.

O uso de uma membrana impermeável de material sintético, é também um processo aplicável [18].

O uso de drenagem [21] no corpo de uma barragem de betão do tipo gravidade é sempre útil e na utilização do "Concreto (Betão) Rolado", o emprego de uma rede de drenagem não traz dificuldades e tampouco eleva custos, sensivelmente.

2.13. Espaçamento entre juntas de construção (dimensão dos monolitos)

O espaçamento entre juntas é determinado através de análise térmica, complementamente à estabilidade. Os japoneses [13,14,27] têm adotado juntas de contração espaçadas a 15-18 m. Há citações [22,26] que indicam que os estudos térmicos não tornam condicionante o uso de juntas de contração.

3. PROPRIEDADES

Dentre as propriedades de interesse do "Concreto (Betão) Rolado", as comumente citadas referem-se: - massa específica, resistências (compressão, tração e cisalhamento), módulo de elasticidade, elevação adiabática da temperatura e permeabilidade.

3.1. Massa específica

A massa específica do "Concreto (Betão) Rolado" tem se apresentado com valores de $2,16 \text{ t/m}^3$ [18], quando se usou xisto como agregado, até $2,7 \text{ t/m}^3$ [28] obtido com agregados a partir do diabásio. Os valores obtidos, no Brasil, para Tucuruí e Itaipu, se situaram entre $2,4 \text{ t/m}^3$ e $2,6 \text{ t/m}^3$ [8,9,21].

3.2. Resistência à compressão axial simples

Uma das maneiras mais práticas de se comparar valores de resistências é colocando-as em termos de rendimento = η expresso em $\text{MPa} / \text{Kg/m}^3$, ou seja, o quociente da resistência à ruptura axial simples pelo consumo de aglomerante (cimento + material pozolânico), como se apresenta na figura 3.

Local	Tipo de Controle	Ø max mm	Consumo de Aglomerante Kg/m^3	Rendimento MPa/Kg/m^3				Módulo de Elasticidade MPa	
				Idade (dias)				(dias)	
				28	90	180	365	90	180
Itaipu [8]	Carotes Extraídos	76	100	-	0,129	0,137	0,140	21900	27600
Japão [13]	Carotes Extraídos	152	100	0,090	0,135	-	-	-	-
			120	0,113	0,167	-	-	-	-
			130	0,108	0,162	-	-	-	-
			150	0,127	0,210	-	-	-	-
Equador [7]	Carotes Extraídos	152	150	-	-	-	0,167*	-	-
Tucuruí [21]	Carotes Extraídos	76	81	0,107	0,120	-	-	10000	

Figura 3:

Valores de Rendimentos e de Módulo de Elasticidade

* IDADE NÃO INDICADA

3.3. Resistência à tração

Os valores de resistência à tração quando expressos em termos percentuais da resistência a compressão, de uma maneira geral, têm-se apresentado entre 6% [22] e 27% [30], com valores predominantemente entre 10% e 15%. Os valores de tração obtidos no Brasil para Itaipu [8,9] e Tucuruí [9,21] se situaram entre 9% e 11%, da resistência à compressão.

3.4. Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento, obtida através de ensaios sobre carotes extraídos da junta de construção em "Concreto (Betão) Rolado", tem atingido valores até 3 MPa [13], que em termos percentuais da resistência à compressão do "Concreto (Betão) Rolado", monolítico se situa entre 17% e 20% [13]. Para Tucuruí [9,21] e Itaipu [8,9], essa relação situou-se entre 8% e 12%.

3.5. Módulo de elasticidade (de deformação)

Os valores obtidos para o módulo de elasticidade são mostrados na figura 3.

3.6. Elevação adiabática da temperatura

Uma das maneiras mais abrangentes para se apresentar a elevação adiabática da temperatura é através da "Evolução Unitária de Temperatura" = $e_{\mu i}$, expresso em $^{\circ}\text{C/Kg/m}^3$, ou seja o quociente da elevação adiabática da temperatura na idade "i" considerada, pelo consumo de aglomerante (cimento + material pozolânico). Os "Concretos (Betões) Rolados", ensaiados em Itaipu para a barragem de Urugua-i, na Argentina, mostraram os valores médios apresentados na figura 4.

Figura 4:

Ø max mm	Evolução Unitária da Temperatura Adiabática $e_{u_i} = ^\circ\text{C}/\text{Kg}/\text{m}^3$								
	Idade (Dias)								
	1	2	3	4	5	10	15	20	28
75	0,069	0,087	0,096	0,103	0,108	0,119	0,124	0,126	0,127

Evolução Unitária da Temperatura Adiabática dos "Concretos (Betões) Rolados" de Urugua-i

3.7. Permeabilidade

A permeabilidade tem sido um ponto de discussão ao se trabalhar com "Concreto (Betão) Rolado".

A figura 5, apresenta um conjunto de valores obtidos através de diversos ensaios.

Para contornar a permeabilidade há de se considerar os comentários citados em 2.12.

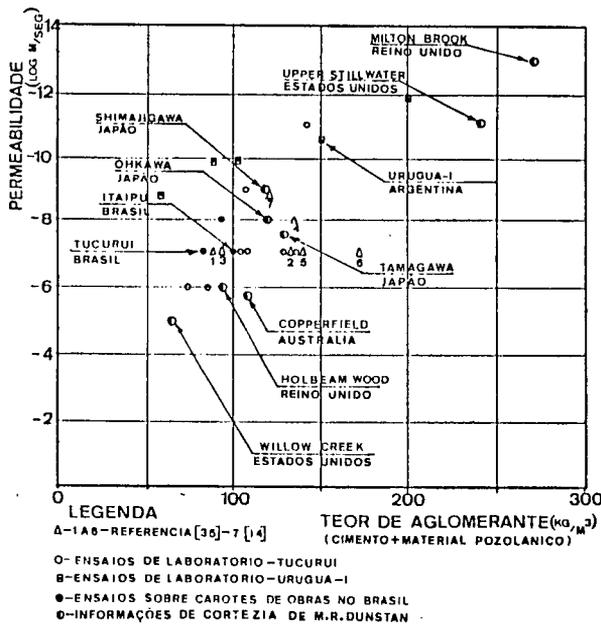


Figura 5:

Relação entre permeabilidade e o Teor de Aglomerante

4. CUSTOS

O custo do "Concreto (Betão) Rolado" tem sido estimado [29,32] entre 35% e 60%, quando comparado com o custo do betão massa usualmente empregado em barragens, isto devido à redução de mão de obra, materiais, simplificação de equipamentos e otimização de prazos.

5. COMENTÁRIO

Pode ser observado que a metodologia do "Concreto (Betão) Rolado" proporciona propriedades que atestam a qualidade do material, e que as simplificações permitidas, levam à redução de prazos e custos.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] A.S.C.E. - "Rapid Construction of Concrete Dams" - Proceedings of the Engi-

- neers Foundation Research - Conference - Asilomar - California - 1970.
- [2] Hirose, T. - Yamagida, T. - "Construction of Dams with Roller Compacted Concrete in Japan" - River Bureau Ministry of Construction - Symposium on Roller Compacted Concrete - A.C.I. - Los Angeles - 1983.
 - [3] Ministry of Construction - Japan - "Report of the Rationalisation of Concrete Dam Construction" - Japanese English Translation - British Research Centre for Civil Engineering Development - 1977.
 - [4] Ministry of Construction - Japan - "R.C.D. - Concrete for Shimajigawa Dam" - Shimajigawa Dam Project Office - 1979.
 - [5] Schrader, E. - "Willow Creek - The First Concrete Gravity Dam - Designed and Built for Roller Compacted Construction Method" - U.S.A. - 1982.
 - [6] Gomez, L.A.A. - "Rollcrete in the Erizana Dam" XV - ICOLD - Q-57-R-19.
 - [7] Perez, M.A.S.; Clemente, J.M.S. - "Beton Compacte au Rouleau Dans le Barrage Deversoir de Daule Peripa - Equateur" - XV-ICOLD - C-16 - 1985.
 - [8] Andriolo, F.R.; Betioli, I.; Scandiuizzi, L. - "Concreto Adensado com Rolo Vibratório" - XIII S.N.G.B. - Rio de Janeiro - Abril - 1980.
 - [9] Andriolo, F.R.; Gama, H.R.; Vasconcelos, G.R.L. - "Use of Roller Compacted Concrete in Brazil" - A.C.I. Fall Convention - Los Angeles - 1983.
 - [10] Revista - "Odebrecht - Informa" - Ano XI - nº 38 - Revista Informativa da Construtora Norberto Odebrecht.
 - [11] Gottardo, G. - "Condiciones y Caracteristicas Esenciales del Aprovechamiento - Uruguay" - Uruguay.
 - [12] Piggot, R.W.; Naas, O.O. - "Roller Compacted Concrete Pavements in British Columbia - Canada" - A.S.C.E. - Maio 1985.
 - [13] Yamagushi, T.; Harada, J.; Okada, T.; Shimada, S. - "Construction of Tamagawa Dam by the R.C.D. - Method" - XV - ICOLD - 1985.
 - [14] Kokubu, M.; Shimizu, S.; Jojima, S. - "Present State and Problems on Rationalized Construction of Concrete Dams in Japan" - XV - ICOLD - 1985.
 - [15] Philleo, R. - "General Report - Question 57 - A New Technology: Rolled Concrete" - XV - ICOLD - 1985.
 - [16] Schrader, E.K.; Elias, G.C.; Campbell, D.B. - "Monksville Dam - A Roller Compacted Concrete Water Supply Structure" - XV - ICOLD - 1985.
 - [17] Filho, S.R.; Carvalho, L.H.; Holanda, F.G. - "Barragem de Acauã - Otimização do Projeto com o Emprego do Concreto Compactado - RCC" - XVI S.N.G.B. - Belo Horizonte - 1985.
 - [18] Kollgard, E.B.; Jackson, H.E. - "Design Innovations for Roller Compacted Concrete Dams" - XV - ICOLD - 1985.
 - [19] Parent, W.F.; Moler, W.A.; Southard, R.W. - "Construction of Middle Fork Dam" - A.S.C.E. - Maio - 1985.
 - [20] Dunstan, M.R.H. - "A Method of Design for the mix Proportions of Roller Compacted Concrete to be Used in Dams" - XV - ICOLD - 1985.
 - [21] Eletronorte - R.TUC-40-6257-RE - "Relatório Preliminar da Aplicação do Rollcrete nas Estruturas Definitivas da UHET" - 1982.
 - [22] Richardson, A.T. - "Upper Stillwater Dam Roller Compacted Concrete Design and Construction Concepts" - XV - ICOLD - 1985.
 - [23] Karl, Jr., R.W. - "Upper Stillwater Dam Construction Program" - A.S.C.E. 1985.

- [24] Richardson,A.T.; Boggs,H.L. - "U.S.B.R. - Desing Considerations for Roller Compacted Concrete Dams" - A.S.C.E. - 1985.
- [25] Seismears,J.R.; Morsman,D.E.; Lawler,L.E. - "Construction of Two Spillways Using Roller Compacted Concrete" - A.S.C.E. - 1985.
- [26] Anderson,F.; Keifer,O.; Hopman,D,R, - "Current Corps of Engineers Concepts for Roller Compacted Concrete in Dams" - A.S.C.E. - 1985
- [27] Nagataki,S.; Yanagida,T.; Okumura,T. - "Construction of Recent R.C.D. - Concrete Dam Projects in Japan - A.S.C.E. - 1985.
- [28] Hollingworth,F.; Druyts,F.H.W.M. - "Experimental Use of Rollcrete on Sections of a Concrete Gravity Dam" - XV - ICOLD - 1985.
- [29] Loggie,C.V. - "Economic Considerations in Selection of a Roller Compacted Concrete Dam" - A.S.C.E. - 1985.
- [30] Dvoracek,J.; Hobst,L.; Pribyl,F. - "Investigation of Gravity Dams Compacted by Rolling in High Layers" - XV - ICOLD - 1985.
- [31] Schrader,E.K. - "Willow Creek Dam - Word's First all Rollcrete Dam" - Civil Engineering - 1982.
- [32] Revista - World Water - June - 1985.
- [33] Schrader,E.K. - "Watertightness and Seepage Control in Roller Compacted Concrete Dams" - A.S.C.E. - 1985.
- [34] Gary,N.; Yates,B.R. - "Simplified Desing and Construction Control for Roller Compacted Concrete" - A.S.C.E. - 1985.
- [35] Sonnewald,P.; Springenschind,R. - "Permeability, frost Resistance and Crack Prevention of Roller Compacted Concrete (RCC)" - XV - ICOLD - 1985.
- [36] Willianson,J.V.; Thompson,R.A.; Kennon,H.H.; Smart,J. - "United States National Committee on Large Dams" - XV - ICOLD - 1985.

Ø max mm	Teor Kg/m ³					Resistência a Com- pressão MPa	
	Água	Cimento	Pozolana	Silte	Agregados	28 Dias	90 Dias
76	110	60	-	-	2280	3,1	3,4
76	110	80	-	-	2259	3,4	4,5
76	110	60	12	-	2260	4,1	4,5
76	110	60	24	-	2229	4,6	5,6
76	110	80	16	-	2257	5,3	6,8
76	110	60	-	25	2280	3,5	4,5
76	110	80	-	25	2274	4,4	5,6

Ø max (mm)	Teor Kg/m ³				Resistência Compressão (MPa)	
	Água	Cimento	Micro-Sí- lica	Agregados	28 Dias	90 Dias
38	80	130	-	2519	12,9	14,8
38	80	130	6,5	2664	20,0	20,7

Local	Tipo de Controle	Ø max mm	Consumo de Aglo- merante Kg/m ³	Rendimento MPa/Kg/m ³ Idade (dias)				Módulo de Elas- ticidade MPa (Dias)	
				28	90	180	365	90	180
Itaipu [8]	Carotes Extraídos	76	100	-	0,129	0,137	0,140	21900	27600
Japão [13]	Carotes Extraídos	152	100	0,090	0,135	-	-	-	-
			120	0,113	0,167	-	-	-	-
			130	0,108	0,162	-	-	-	-
			150	0,127	0,210	-	-	-	-
Equa- dor [7]	Carotes Extraídos	152	150	-	-	-	0,167*	-	-
Tucu- rui [21]	Carotes Extraídos	76	81	0,107	0,120	-	-	30000	

* IDADE NÃO INDICADA

Ø max mm	Evolução Unitária da Temperatura Adiabática $\mu_i = ^\circ\text{C}/\text{Kg}/\text{m}^3$									
	Idade (Dias)									
	1	2	3	4	5	10	15	20	28	
75	0,069	0,087	0,096	0,103	0,108	0,119	0,124	0,126	0,127	

